

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 842 389

②1 N° d'enregistrement national : 02 08648

⑤1 Int Cl<sup>7</sup> : H 05 H 1/48, B 01 D 53/32

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 09.07.02.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 16.01.04 Bulletin 04/03.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : ETUDES CHIMIQUES ET PHYSI-  
QUES (ECP) Société à responsabilité limitée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : CZERNICHOWSKI ALBIN et CZERNI-  
CHOWSKI MIECZYSLAW.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 DISPOSITIF MODULAIRE POUR GENERER DE MULTIPLES DECHARGES ELECTRIQUES GLISSANTES DE  
HAUTE TENSION.

⑤7 Le dispositif modulaire, pouvant générer des centaines de décharges électriques de haute tension (HT), est alimenté par une source triphasée unique ayant une caractéristique rigide (donc ordinaire) de courant-tension. Il peut être installé dans un réacteur pour traiter de grandes quantités de gaz et/ou vapeurs contenant (ou non) des liquides et/ou solides dispersés. Le réacteur comporte dans ses parois seulement trois traversées étanches de HT.

Les décharges glissent sur plusieurs électrodes qui sont agencées en une structure à symétrie trigonale appelée "multicluster". Cette structure contient un grand nombre de modules tels que "clusters", "groupes" ou "cellules", chaque module contenant des "nids" élémentaires composés de trois électrodes identiques ayant une forme de poignard et disposées en étoile. Les modules sont montés sur des plaques rigides sur lesquelles sont également fixées des buses injectant la matière à traiter. Le nombre de nids dans un multicluster dépend seulement de la quantité de la matière à traiter dans le réacteur.

Les différences de potentiels à vide entre des électrodes voisines appartenant au même nid peuvent atteindre 30 kV. La limitation ohmique du courant parcourant chaque décharge s'effectue en mettant en série trois ou quatre élec-

trodes appartenant aux nids voisins de façon à ce que la résistance propre d'une décharge déjà installée soit une charge résistive de régulation pour d'autres décharges de la même branche. Un circuit d'auto-allumage de décharges en série comporte des résistances d'allumage connectées à la même source triphasée. Ces résistances ne consomment pas d'énergie car elles ne conduisent qu'un faible courant lors des rares moments d'allumage et de décharges.

Si nécessaire, on peut encore réduire le courant des décharges en utilisant des connecteurs résistifs amenant le courant à certaines électrodes, et/ou même des électrodes présentant une résistance propre.

FR 2 842 389 - A1



Cette invention propose un dispositif modulaire pour générer de multiples décharges électriques glissantes de haute tension fournies par un seul générateur, ces décharges étant installées dans un réacteur unique pour traiter de grandes quantités de matière.

- 5 Ces décharges appelées GlidArc (BF 2639172), ont déjà été proposées comme source d'énergie et/ou d'activation catalytique pour de multiples applications industrielles telles que le traitement d'un gaz contenant de l'Hydrogène Sulfuré (BF 2646099), la dépollution de gaz contenant des solvants (BF 2666518), la transformation valorisante de  $N_2O$  en  $NO_x$  (BF 2709748), l'élimination des suies présentes dans les effluents de combustion (BF 2709980),  
 10 la destruction des oxydes de soufre et d'azote provenant d'effluents gazeux (BF 2698090), la déshalogénéation valorisante de composés organiques (BF 2724166), le blanchiment et l'amélioration de la tenue des teintures sur les matières organiques (BF 2711680), l'élimination des hydrocarbures légers des mélanges gazeux (BF 2717403), le vapocraquage et/ou le reformage de gaz naturel par le gaz carbonique (BF 2758317), l'oxydation partielle  
 15 d'hydrocarbures légers par l'oxygène (BF 2768424), le dégraissage, décapage ou passivation plasma-chimique des métaux (BF 2774400), et d'autres traitements encore.

- Ces applications du GlidArc ont été testées principalement avec des réacteurs de taille réduite dans lesquels un flux de gaz ou de vapeurs (matière diluée) à traiter entrant dans une zone de décharges créées entre 2, 3 ou 6 électrodes englobant symétriquement un tel fluide. Il a été  
 20 constaté qu'un dispositif à 2 électrodes est apte à développer une puissance jusqu'à environ 5 kW avant que cette décharge très active ne se transforme en une source thermique plutôt mal adaptée aux traitements plasma-chimiques du fluide. En utilisant une source électrique triphasée, on arrivait à augmenter la puissance de la décharge encore acceptable pour un module composé de 3 ou de 6 électrodes autour du flux. Pour traiter une quantité encore plus importante de  
 25 matière, on envisageait de mettre en parallèle plusieurs modules d'un diamètre maximal ne dépassant toutefois pas 0,3 m et de la puissance optimale évoquée ci-dessus, chacun des modules étant accompagné d'un système d'accélération du fluide par une buse soufflant le fluide au centre du module le long des bords des électrodes et d'une alimentation électrique séparée pour chaque module.

- 30 Pour certaines applications industrielles il serait cependant plus judicieux de mettre en parallèle des dizaines ou des centaines d'électrodes dans un seul réacteur traitant un très large flux de matière. Mais ceci demanderait une multitude de buses d'injection du fluide entrant dans un tel réacteur, chacune des buses étant englobée par un nombre limité (6 au maximum) d'électrodes, ceci pour des raisons d'encombrement. Chacune des électrodes devrait aussi  
 35 communiquer avec une source séparée d'alimentation de Haute Tension (HT), ce qui demanderait de disposer d'autant de passages individuels à travers la paroi du réacteur pour connecter ces sources de HT à chacune des électrodes. Et ces passages, ressemblant à des bougies de voiture, créent certains problèmes d'étanchéité et d'isolation électrique. De plus, de multiples (dizaines ou centaines) passages de HT à travers la paroi d'un réacteur sous pression  
 40 élevée demanderaient un surdimensionnement de l'épaisseur d'une telle paroi – d'où un surcoût parfois inacceptable.

L'invention ici décrite propose donc un agencement d'une multitude d'électrodes, groupées en modules placés dans un même réacteur muni de seulement trois passages étanches de HT à travers ses parois. Cet agencement nouveau est accompagné d'une nouvelle façon d'alimenter ces électrodes par le recours à un générateur triphasé unique. Quelques  
 5 considérations électrotechniques nous ont également amenées à proposer une nouvelle forme géométrique et une nouvelle propriété pour les électrodes du dispositif de génération des décharges glissantes.

Les alimentations électriques primitives des décharges GlidArc étaient basées sur une  
 10 source de HT continue ou alternative limitée en courant par une impédance en série, ceci pour éviter un fort appel de courant lors de la phase d'amorçage et de rallumage de la décharge. Sans une telle impédance on observait un court-circuit franc avec des conséquences néfastes pour le dispositif et pour l'alimentation. Trois types d'impédances en série avaient été envisagés :

- une résistance - qui provoque une perte d'énergie si celle-ci est dissipée hors du réacteur,
- 15 sous forme de chaleur Joule sans utilité pour le procédé,
- une capacité - qui se décharge très brutalement à la fin de la phase d'amorçage et qui, de ce fait, change la nature de la décharge qui devient alors trop chaude et donc peu propice à tout traitement plasma-chimique "froid",
- une inductance placée en série - qui transforme un générateur de tension en un générateur  
 20 de courant, ce qui semblait le mieux approprié.

Le choix primitif s'était donc porté sur une inductance mise en série avec la source de HT. Ce simple montage permettait de disposer facilement d'une tension d'amorçage et d'une tension de rallumage élevées, nécessaires pour le travail à caractère quasi cyclique du GlidArc. En effet, la limitation du courant par effet inductif ne semblait pas créer de problèmes technologiques car il  
 25 existait des transformateurs "à fuite" avec une telle inductance en série déjà incorporée, capables de supporter les courts-circuits francs, de s'accorder à une charge variable et de subir une surtension importante. Ils avaient cependant une puissance limitée et ils présentaient un très mauvais facteur de puissance.

Une description de la décharge glissante GlidArc se développant entre seulement deux  
 30 électrodes permettra de pointer les spécificités liées à son alimentation et ainsi de comprendre les caractéristiques recherchées pour une alimentation unique pour des réacteurs de taille industrielle munis d'une multitude d'électrodes entre lesquelles s'auto-organisent les décharges glissantes.

Le principe du GlidArc repose sur une alternance quasi périodique du cycle d'allumage - élongation - extinction d'une décharge électrique à courant limité. Nous préconisons des courants  
 35 inférieurs à 5 Ampères pour une décharge individuelle, pour que celle-ci soit considérée, en physique de plasmas, comme une "décharge autonome", située entre les "décharges lumineuses" d'une très faible puissance et les "arcs électriques" puissants mais ayant un caractère thermique.

Les deux électrodes divergentes sont alors en contact avec la décharge glissante  
 40 GlidArc. Les pieds de la décharge (qui constituent les contacts galvaniques communicants avec la source d'alimentation électrique de la décharge) glissent rapidement sur les bords de ces

électrodes, ceci pour éviter leur érosion thermique et/ou corrosion chimique. Le glissement des pieds de la décharge est provoqué par un mouvement rapide d'un flux de gaz ou de vapeurs (avec ou sans poudre ou gouttelettes) le long des bords des électrodes. La colonne de la décharge subit alors une élévation assez rapide car la distance entre les électrodes n'est pas constante ; elle augmente au fur et à mesure du mouvement des pieds. A cette augmentation de la distance entre les électrodes, cause principale de l'élévation progressive de la colonne, s'ajoutent des fluctuations et élévations très rapides de la colonne qui évolue dans un flux turbulent. Ces fluctuations et élévations se passent dans un laps de temps très court, entre une fraction de ms et quelques ms. De plus, la colonne de la décharge change constamment de diamètre suite à l'oscillation périodique du courant alimentant la décharge, qui est par exemple un courant alternatif de 50 Hz, 60 Hz ou 400 Hz avec plusieurs passages par zéro (courant nul) entraînant une extinction suivie d'une réapparition de la colonne pratiquement au même endroit quand le courant recommence à passer.

Par principe même du GlidArc, nous provoquons et/ou entretenons tous ces phénomènes d'instabilité de la colonne pour obtenir un milieu en fort déséquilibre électrique et dynamique de flux quasi désordonné - car ainsi nous obtenons un milieu en fort déséquilibre thermodynamique propice au traitement de la matière composant le flux en contact intime avec la décharge électrique ou se trouvant à proximité d'elle. Toutes ces instabilités doivent être acceptées et entretenues (et même renforcées si possible) par une alimentation électrique. De plus, cette alimentation doit être la plus simple possible (pour des raisons économiques, de longévité, etc.), basée sur un réseau ordinaire (secteur) ou raccordée à un groupe électrogène triphasé, et la plus performante possible du point de vue de son rendement de transformation, du filtrage des rejets électriques non conformes au réseau, etc.

Reprenons la description du cycle de vie d'une seule décharge entre deux électrodes. Ces électrodes ne sont évidemment pas en contact galvanique direct l'une avec l'autre car autrement nous aurions un court circuit franc. La distance la plus courte ( $d$ ) entre les bords des électrodes devra être d'au moins quelques millimètres, sinon le réglage de cette distance serait difficile et imprécis sachant que les électrodes et leurs supports sont placés à l'intérieur d'un réacteur et ne sont donc pas accessibles facilement. De plus, nous voulons éviter que des aspérités se développant sur la surface ou une légère usure des électrodes ne provoquent un changement important de cette distance par rapport au réglage initial. C'est à l'endroit où cette distance ( $d$ ) est la plus courte que nous observons l'amorçage électrique de la décharge lorsque la tension alternative appliquée aux électrodes dépasse la tension de claquage diélectrique dans le flux se trouvant entre les électrodes. Immédiatement, la colonne de plasma formée entre les électrodes est entraînée par le mouvement du fluide. La vitesse linéaire de déplacement de la colonne de décharge le long des électrodes dépend principalement de la vitesse du flux. La colonne commence à s'allonger car par principe même du GlidArc la distance entre les bords des électrodes divergentes augmente dans la direction du flux. En même temps, la tension aux bornes des électrodes doit croître pour compenser l'accroissement des pertes d'énergie par la colonne de plus en plus longue. A cet instant la puissance électrique fournie par unité de longueur de la décharge est suffisante pour compenser les pertes d'énergie radiales subies par la colonne

par conduction thermique. Cette phase d'équilibre se poursuit donc tant que la décharge continue à s'allonger jusqu'au moment où la puissance pouvant être fournie par le générateur alimentant la décharge atteint sa valeur maximale. A partir de ce moment là, alors que les pertes par conduction thermique continuent toujours à augmenter, la décharge entre dans sa phase de déséquilibre thermique et on constate une chute importante de la température du gaz à l'intérieur de la colonne. Par contre, la température locale des électrons reste très élevée. Par suite de la diminution de la température du gaz au sein de la colonne, les pertes de chaleur diminuent et la longueur de la colonne du plasma hors équilibre peut alors continuer à croître. Cette seconde phase de vie de la décharge en déséquilibre thermique et électrique, pendant laquelle jusqu'à 80 % d'énergie est injectée, s'avère particulièrement intéressante pour entretenir et/ou stimuler une réaction chimique ou tout autre traitement à plasma. Pour finir, la décharge s'allonge tellement que les pertes de chaleur deviennent supérieures à la puissance maximale pouvant être fournie dans la colonne de décharge en déséquilibre. Alors la décharge s'éteint et une nouvelle décharge s'établit à endroit où les bords des deux électrodes sont les plus proches. Ainsi recommence le cycle d'allumage, de vie et d'extinction de la décharge glissante GlidArc.

Le GlidArc nécessite donc, pour son fonctionnement, un générateur de puissance spécial ou un circuit électrique spécifique contenant des éléments actifs et/ou passifs d'allumage, d'entretien et de rallumage de la décharge. Le générateur doit à la fois fournir une assez haute tension "à vide" pour amorcer une décharge de puissance limitée et ensuite, lorsque après son allumage la tension de la décharge chute, il doit entretenir cette décharge en fournissant une puissance progressivement croissante mais toujours limitée à une valeur maximale. Ainsi la caractéristique courant - tension de la source d'alimentation doit être telle que le courant passant par la décharge diminue rapidement après l'amorçage.

Cette caractéristique peut également être obtenue grâce à un circuit spécifique, objet de la présente invention, liant la décharge avec un générateur (source) de puissance ayant une caractéristique "rigide" courant-tension, par exemple un réseau de distribution habituel de HT triphasée.

La très active décharge glissante alors créée par le circuit spécifique est balayée par le flux de matière diluée poussant la décharge. En même temps la décharge s'oppose à cette poussée par l'attachement de ses pieds aux deux électrodes. Le flux de matière est alors soumis aux électrons, aux ions, aux radicaux et aux particules excités par la décharge. Ceci permet d'atteindre l'effet de traitement recherché. A la suite d'une diffusion rapide et de turbulences aérodynamiques, ces espèces actives, qui ont parfois un temps de vie relativement long, arrivent également à parsemer l'espace qui n'est pas directement "touché" par les décharges. Tous ces phénomènes contribuent à l'activité extraordinaire des décharges glissantes GlidArc.

Généralement un GlidArc peut être alimenté soit en courant continu, soit en courant redressé, soit encore en courant alternatif. Évidemment, le réseau alternatif triphasé ("secteur"), le plus répandu, ainsi que les groupes commerciaux électrogènes triphasés, sont les sources d'énergie électrique primaires les mieux adaptées.

La description qui suit permettra de comprendre le mode de fonctionnement des modules qui regroupent les multiples décharges GlidArc qui glissent sur plusieurs électrodes. Ces électrodes sont agencées dans une structure ayant une symétrie trigonale et appelée "multiclusteur", objet également de la présente invention. Cette structure contient un nombre presque illimité de "clusters", "groupes" ou "cellules", chaque cluster, groupe ou cellule contenant des "nids" élémentaires composés de trois électrodes (ceux-ci étant également appelés "triades"). Toute la structure multiclusteur est alimentée par un générateur (source) triphasé unique, l'autre objet de la présente invention. Nous exposerons tout d'abord les particularités liées aux électrodes, leur agencement et leurs propriétés, ce qui nous permettra ensuite de mieux situer notre nouvelle alimentation et notre nouveau circuit (montage) électrique.

La Figure 1 représente schématiquement un "nid" composé de trois électrodes (1) identiques formant un angle de  $120^\circ$  entre elles dans une structure en étoile (triade). Chaque électrode a une forme identique, ressemblant à un poignard à double tranchant. Cette forme permet d'installer deux décharges simultanées des deux côtés (bords) de chaque électrode qui est alors commune à deux nids avoisinants. Chaque électrode du nid est munie d'un connecteur (2) assurant à la fois une fonction mécanique et électrique. Ce connecteur (ou borne) est fixé dans une structure rigide appelée "plaque" qui permet d'assurer un positionnement optimal de l'électrode par rapport aux autres électrodes du nid par réglage de sa position angulaire et cartésienne (verticale et horizontale par rapport aux trois axes de l'espace). Chaque électrode du nid est sous un potentiel différent provenant d'une même alimentation R-S-T triphasée, fournie par exemple par un transformateur rigide triphasé HT. Les tensions maximales (comme l'amplitude réelle) à vide entre les électrodes sont de l'ordre de 7 à 30 kV. Ainsi nous organisons une triple décharge électrique glissante dans chaque nid. Cette décharge s'installe entre les phases R - S, S - T et R - T comme ceci va être décrit plus loin. Sur le nid particulier présenté sur la Figure 1, la phase R est connectée directement à l'électrode (r) tandis que les phases S et T sont connectées respectivement aux électrodes (s') et (t') par l'intermédiaire des résistances dites d'"allumage" dont le rôle est expliqué plus loin.

A cause des hautes tensions appliquées entre les électrodes mais qui existent également entre chaque électrode, son support et le corps du réacteur abritant le dispositif à multiples décharges glissantes, il est indispensable que les fixations mécaniques des électrodes sur la plaque assurent en même temps la fonction de bons isolants électriques. Contrairement aux solutions basées sur le principe des bougies d'allumage des voitures, nous n'avons plus besoin de la fonction "étanchéité" du connecteur (2) par rapport à la plaque portant ce connecteur car la plaque se trouve déjà à l'intérieur du réacteur. Ce fait nous laisse beaucoup plus de liberté de choix ; par exemple ce connecteur (2) peut avoir une forme de bâton métallique traversant une pastille d'alumine fixée sur un support métallique plan mis au potentiel de la terre (comme d'ailleurs tout le corps du réacteur). Les trois câbles (conducteurs) d'alimentation électrique triphasée R, S et T arrivent alors directement ou indirectement (ce qui sera détaillé plus loin) sur les trois bornes correspondantes (2) du nid. Ces câbles se trouvent également à l'intérieur du réacteur sachant que quelque part on a déjà réalisé trois passages étanches pour les trois phases d'alimentation R, S et T de haute tension entrant dans le réacteur. Ces passages

- 6 -

diélectriques, communs pour toutes les électrodes du dispositif multicluster, sont ainsi simplifiés car seule la fonction de bonne isolation électrique de chacun de ces passages étanches par les parois du réacteur est à assurer (et non plus la fonction mécanique de maintien des électrodes).

Le fluide entrant à traiter est injecté par une buse (3). La buse appartient à un système  
 5 indépendant de distribution du fluide à traiter. A titre d'exemple cette distribution peut se...  
 composer d'une seule tuyauterie de distribution d'un prémélange des gaz et/ou vapeurs ou bien  
 de deux (ou plusieurs) tuyauteries de distribution de deux (ou plusieurs) fluides à traiter qui sont  
 ensuite mélangés dans une double (ou multiple) buse. Le bon fonctionnement d'un nid nécessite  
 le positionnement axial de la buse par rapport aux 3 électrodes entre lesquelles cette buse injecte  
 10 le flux à traiter. Il est alors judicieux de pouvoir fixer la buse dans la même structure du support  
 mécanique (plaque) du nid en permettant une fonction de réglage de sa position cartésienne par  
 rapport à l'axe de symétrie des électrodes du nid. Le nid constitue un élément de base pour  
 former des entités à électrodes multiples telles que cluster, groupe, cellule et multicluster décrits  
 plus loin.

15 La symétrie trigonale d'un nid élémentaire et la forme de poignard à double-tranchant de  
 ses électrodes permettent de créer une structure plus complexe que précédemment décrite. En  
 gardant toujours la même disposition angulaire de  $120^\circ$  entre les électrodes nous pouvons ainsi  
 placer trois autres nids autour du nid central en obtenant une structure à quatre nids que nous  
 20 appelons "cluster". Elle est présentée sur la Figure 2a. Sur cette figure nous marquons le nid  
 central par des traits gras pour bien le distinguer mais, bien sûr, les trois autres nids entourant le  
 nid central sont identiques au nid central. Le cluster assemblé sur une plaque porteuse peut être  
 considéré comme une entité (un ensemble) amovible qui sert à assembler une structure plus  
 complexe appelée "cellule" ou encore plus complexe appelée multicluster. Chaque cluster, avec  
 25 son support mécano-électrique portant les connecteurs (2) et les buses (3), peut être fixé  
 individuellement, côte à côte avec d'autres clusters, à la paroi intérieure d'un réacteur, par  
 exemple sous le couvercle supérieur d'un réacteur appelé SynGen pour la conversion plasma-  
 chimique des hydrocarbures en gaz de synthèse. On obtient ainsi un dispositif "multicluster" à  
 décharges multiples. On peut également grouper plusieurs clusters sur un seul support (plaque).  
 30 rigide pour faciliter ainsi l'accrochage d'un tel multicluster à l'intérieur d'un réacteur à électrodes  
 multiples.

Un cluster assemblé sur une plaque portant des buses (celles-ci étant connectées à un  
 système de distribution de la matière à traiter) peut être également considéré comme un dispositif  
 final placé en solitaire dans un réacteur de taille moyenne. Dans ce cas, présenté sur la  
 35 Figure 2b, les électrodes périphériques (appartenant aux nids placés à l'extrémité) d'un tel cluster  
 peuvent être mono-tranchantes. Ce cluster solitaire est muni de seulement quatre buses  
 d'injection pour quatre triple-décharges électriques. Un cluster autonome a donc trois électrodes  
 double-tranchantes entourées de six électrodes mono-tranchantes.

Une structure plus complexe contient sept nids. Elle est montrée sur la Figure 3a et  
 40 appelée "cellule". La cellule (4) assemblée sur une plaque porteuse et munie de buses (3)  
 d'injection est une entité rigide et amovible. Elle est accrochée à une paroi interne d'un réacteur,

par exemple, sous un couvercle supérieur. Sur la Figure 3a nous marquons la position du nid central par des traits gras pour bien le distinguer. Mais bien sûr, les 6 autres nids voisins sont identiques au nid central. En rapprochant les sept nids pour former la cellule, nous obtenons, grâce à la forme double-tranchante des électrodes et grâce à la symétrie trigonale d'un tel montage, encore six emplacements pour placer six buses supplémentaires. En résumé la cellule contient donc 7 nids primaires, 21 électrodes double-tranchantes et 13 buses, chacune de ces buses étant entourée par une triple-décharge glissante se développant entre les trois électrodes placées autour du flux injecté par la buse en question.

Comme pour le cluster, les électrodes extérieures d'une cellule solitaire ne sont pas obligatoirement double-tranchantes si cette cellule constitue un dispositif de taille déjà suffisante pour être placée dans un réacteur, tel que présenté sur la Figure 3b, avec toujours 13 buses d'injection du fluide à traiter. Dans ce cas nous aurons seulement 15 électrodes double-tranchantes entourées de 9 électrodes mono-tranchantes, 3 de ces dernières électrodes devant être ajoutées pour compléter certains nids frontaliers).

Chaque électrode (1) du cluster ou de la cellule est munie d'un connecteur (2) comme évoqué auparavant. Ces connecteurs sont saisis de façon rigide dans une structure (par exemple sur une plaque porteuse) assurant une position angulaire, verticale et horizontale de l'électrode et permettant un réglage de toutes les distances et angles nécessaires pour le positionnement optimal de chaque électrode vis-à-vis des autres électrodes du cluster ou de la cellule. Les moyens de fixation (vis, tringles, etc.) fournissent la rigidité mécanique et l'isolation par rapport à HT. Il n'y a pas ici de risque de fuites de gaz ou de vapeurs vers l'extérieur par ces connexions mécaniques et électriques car toute cette structure de connexions ne traverse pas les parois du réacteur et se trouve déjà dans son intérieur.

Chaque électrode du cluster ou de la cellule est sous un potentiel provenant d'une même alimentation triphasée. Les différences de potentiels à vide entre certaines électrodes peuvent atteindre 30 kV. Cependant certaines autres électrodes, non voisines, sont mises volontairement aux mêmes potentiels comme ceci va être expliqué plus loin. Comme auparavant indiqué pour un seul nid, il est indispensable que la structure de fixation mécanique de toutes les électrodes sur la plaque porteuse assure en même temps la fonction de bon isolant électrique. Par exemple les connecteurs (2) peuvent être constitués par un bâton métallique ou conducteur à caractère résistif traversant une pastille d'alumine à fixation réglable sur une plaque métallique réservée pour tout le cluster ou pour toute la cellule (4). Les câbles (conducteurs) de distribution de l'alimentation électrique arrivent séparément sur les bornes (2) de chaque électrode. Ces câbles se trouvent à l'intérieur du réacteur. Comme déjà évoqué, on a besoin de seulement trois passages par les parois du réacteur pour trois phases (pôles) R, S et T d'alimentation qui sont ensuite redistribuées de la façon particulière décrite plus loin.

Le fluide entrant à traiter est injecté par les buses (3) appartenant au système de distribution du fluide à traiter. Le bon fonctionnement de chaque nid placé dans un cluster ou dans une cellule nécessite le positionnement axial de chaque buse par rapport aux électrodes. Ces buses sont alors fixées une par une dans la structure du support mécanique (plaque) du



cluster ou de la cellule après réglage préalable de leurs positions cartésiennes par rapport à l'axe de symétrie de chaque nid d'électrodes.

Le réglage précis des positions de toutes les électrodes et buses d'un cluster ou d'une cellule assemblées sur une plaque peut être effectué hors du réacteur. C'est aussi hors du réacteur qu'une telle entité (le cluster ou la cellule + la plaque porteuse + les buses + une tuyauterie de distribution du fluide à traiter dans les décharges) peut être connectée à un circuit électrique d'essai et à un banc d'essai de distribution du fluide pour une vérification ultime du bon fonctionnement de l'entité avant sa mise définitive dans le réacteur.

Des clusters ou cellules en nombre quasi illimité peuvent être associés côte à côte pour former un "multiclusteur" tel que présenté sur la Figure 4. Sur cette figure nous montrons, à titre d'exemple, une structure composée de 7 cellules, chaque cellule étant composée de 7 nids. Les structures (plaques) individuelles supportant chaque cellule dans ce montage multiclusteur sont attachées séparément, côte à côte, par exemple au dessous du couvercle supérieur du réacteur. Sur la Figure 4 nous individualisons en gras la cellule centrale ainsi que les nids centraux des cellules avoisinantes de manière à mieux comprendre la composition du multiclusteur. Quelques buses d'injection du fluide à traiter sont aussi indiquées pour mieux voir les limites de chaque cellule. Cependant, il y a des buses partout où trois électrodes forment un nid (étoile, triade). Comme auparavant, ces buses montées sur les mêmes plaques appartiennent à un système séparé de distribution du fluide.

La taille d'un multiclusteur dépend bien évidemment de la quantité de matière à traiter dans un seul réacteur à décharges électriques glissantes. Alors, en associant les clusters et/ou les cellules, on remplit au mieux la surface (l'espace) destinée à loger les décharges glissantes. A l'extrémité d'un tel multiclusteur on place alors des électrodes mono-tranchantes pour compléter des nids frontaliers, comme ceci a déjà été présenté sur la Figure 3b pour le cas d'une seule cellule. En sélectionnant et en agencant les éléments du puzzle tels qu'électrodes mono-tranchantes, électrodes double-tranchantes, nids, clusters et cellules, on peut obtenir la forme désirée, préférentiellement plate ou bien courbe, optimale pour organiser une multitude de décharges glissantes la mieux adaptée pour telle ou telle application.

Comme cela a déjà été mentionné, l'usage d'une simple résistance ohmique placée en série dans le circuit d'alimentation pour limiter le courant d'une décharge glissante provoque une perte substantielle d'énergie dissipée hors du dispositif sous forme de chaleur Joule. Cependant, si cette chaleur est dissipée à l'intérieur du réacteur, elle n'est pas entièrement perdue car elle apporte une partie de l'énergie nécessaire pour des processus endothermiques ou pour des processus ayant un effet exothermique insuffisant pour accélérer la cinétique des réactions. Ceci ouvre donc la voie à une application pratique d'une telle limitation ohmique du courant des décharges glissantes.

Ce moyen de limitation ohmique du courant se présente comme un circuit d'auto-allumage en cascade (propagation) contrôlée, alimentant simultanément trois ou quatre électrodes mises en série dans une branche connectée à une seule source triphasée. Dans ce cas, la résistance propre d'une colonne de décharge déjà installée est une charge résistive de

régulation pour une autre décharge. Evidemment, en alimentant simultanément une branche d'électrodes placées en série et connectées à une seule source triphasée, nous sommes capables d'alimenter ainsi un nombre quasi illimité de branches d'une structure à électrodes multiples, ceci toujours à partir d'un seul générateur triphasé HT.

- 5 La Figure 5a présente schématiquement cette solution pour une alimentation à trois pôles (phases) connectés à quelques décharges simultanées établies en série. Pour plus de clarté nous présentons seulement un "groupe" faisant partie d'une cellule quelconque du dispositif multicluster. Le courant délivré par les pôles R, S et T d'une source triphasée de HT est connecté directement aux électrodes double-tranchantes (*r*), (*s*) et (*t*) de la façon suivante : R à (*r*), S à (*s*)  
 10 et T à (*t*). Ces trois électrodes principales (chacune d'elles appartenant à la fois également aux deux nids voisins) sont représentées par trois traits épais. Trois autres électrodes intermédiaires (*r'*), (*s'*) et (*t'*) sont respectivement en face des électrodes (*r*), (*s*) et (*t*), l'ensemble formant un hexagone. Ainsi l'électrode (*r'*) est en face de l'électrode (*r*), l'électrode (*s'*) est en face de l'électrode (*s*) et l'électrode (*t'*) est en face de l'électrode (*t*). Les électrodes (*r'*), (*s'*) et (*t'*)  
 15 appartiennent au même hexagone et elles sont représentées par des pointillés. Chaque électrode intermédiaire appartient alors aussi à deux nids voisins (sauf celles qui sont périphériques par rapport à une structure multicluster).

- Le courant électrique ne peut cependant circuler entre les pôles R et S, S et R ou R et T de la source qu'en passant par deux décharges en série établies respectivement entre les  
 20 électrodes (*r*) - (*t'*) - (*s*), (*s*) - (*r'*) - (*t*) ou (*t*) - (*s'*) - (*r*). Etant donné le caractère des décharges glissantes GlidArc, il faut tout d'abord amorcer ces décharges, les entretenir ensuite jusqu'à leur extinction, et enfin rallumer chaque décharge après sa disparition.

- La plus petite distance (*d*) entre un bord de l'électrode intermédiaire double-tranchante placée entre deux électrodes principales (directement liées à la source) et un bord de l'électrode  
 25 avoisinante est de l'ordre de quelques mm. D'ailleurs, tous les écartements minima entre toutes les électrodes du dispositif multicluster sont sensiblement les mêmes. Pour cette distance (*d*) on observerait l'auto-allumage d'une décharge ... si on appliquait une différence suffisante de potentiels entre ces deux électrodes voisines. Cette tension nécessaire pour l'auto-allumage dépend des conditions locales du gaz se trouvant entre les électrodes : sa température, pression,  
 30 nature chimique, etc. Un rôle important est joué également par la nature des électrodes : leur température locale, état de surface, nature du matériau, géométrie, etc. Or, l'électrode intermédiaire qui est placée entre deux autres électrodes "principales" alimentées par deux phases distinctes n'est pas encore connectée au circuit pour avoir un potentiel bien déterminé par rapport à ses voisines ! Cette électrode intermédiaire est, pour l'instant, seulement placée entre  
 35 deux électrodes principales ayant toutes les deux un potentiel déterminé ; elle se trouve donc dans un champ électrique. Le potentiel de cette électrode intermédiaire est "flottant" et très mal défini. La résistance quasi infinie entre l'électrode intermédiaire et ses voisines séparées chacune les unes des autres par un fluide non-conducteur sur une distance (*d*) n'est pas propice à ce que cette électrode intermédiaire prenne part au circuit électrique. Pour allumer à la fois les deux  
 40 décharges il faudrait parcourir deux distances (*d*) et la somme de deux tels écarts, égale à  $2*(d)$ , est trop grande pour permettre un éclatement des décharges en série alimentées par une source

de tension qui est volontairement limitée à une valeur efficace raisonnable pour une application industrielle (gamme de 5 kV à 21 kV comme tension efficace entre les phases ou 30 kV comme tension maximale instantanée). C'est uniquement en incorporant un résisteur d'allumage, qui relie de façon galvanique une électrode intermédiaire au potentiel ferme d'une électrode principale, que la décharge pilote peut éclater entre les électrodes voisines dont les bords sont séparés d'une seule distance ( $d$ ).

Pour donner à une électrode intermédiaire un potentiel ferme par rapport à ces voisines nous utilisons donc une résistance dite d'allumage. En effet il y a trois résistances d'allumage de valeurs élevées (chacune entre 0,2 M $\Omega$  et 2 M $\Omega$ , typiquement 0,5 M $\Omega$ ) qui relient chaque électrode intermédiaire avec une électrode voisine. Ainsi, comme ceci est indiqué sur la Figure 5a, l'électrode ( $r'$ ) est connectée par une résistance d'allumage avec le pôle R, l'électrode ( $s'$ ) est connectée avec le pôle S et l'électrode ( $t'$ ) est connectée avec le pôle T de la source triphasée. Ces résistances ont des valeurs ohmiques proches et leur puissance de dissipation est sensiblement la même. L'un des deux pôles de résistance d'allumage est relié à une électrode intermédiaire ( $r'$ ), ( $s'$ ) ou ( $t'$ ) tandis que l'autre pôle est relié respectivement au pôle R, S ou T de la source triphasée à un endroit quelconque, d'habitude le plus proche possible du passage des câbles (conducteurs) de redistribution de ces trois pôles d'alimentation se trouvant à l'intérieur du réacteur.

Ces résistances assurent ainsi une liaison galvanique du circuit qui autrement serait rompu à deux endroits avant que les décharges ne s'installent. La résistance attribue donc un potentiel ferme par rapport aux deux électrodes voisines. Pour un circuit simplifié comme celui présenté sur la Figure 5a, le premier allumage s'effectue de la façon suivante :

- L'électrode ( $r$ ) se trouve toujours sous un haut potentiel alternatif délivré par le pôle R de la source. L'électrode ( $t'$ ) est reliée au pôle T à travers la résistance d'allumage et donc ( $t'$ ) est sous le potentiel délivré par le pôle T car le courant ne passe pas encore. A un moment donné de l'évolution temporaire des potentiels des trois pôles de la source alternative de fréquence 50 Hz, 60 Hz ou 400 Hz, la différence de potentiels R - T entre les électrodes ( $r$ ) et ( $t'$ ) écartées de ( $d$ ) peut devenir suffisante pour engendrer une décharge pilote de faible courant (de l'ordre de dizaines de mA) limité par la résistance d'allumage en série. Par exemple pour un transformateur rigide 50 Hz triphasé de 17,3 kV (comme valeur efficace entre les phases) cette tension entre les électrodes ( $r$ ) et ( $t'$ ) atteint la valeur maximale de 24,5 kV toutes les 10 ms.
- La première décharge pilote peut cependant s'établir entre l'électrode ( $t'$ ) sous le potentiel T et l'électrode ( $s$ ) qui se trouve sous un haut potentiel alternatif délivré par le pôle S de la source. La différence de potentiels S - T peut devenir suffisante pour qu'une première décharge pilote de faible courant (toujours limité par la résistance d'allumage en série) puisse s'établir entre les électrodes ( $s$ ) et ( $t'$ ) plus tôt que la décharge pilote ( $r$ ) - ( $t'$ ).
- Au moment de l'établissement de la première décharge pilote, l'électrode intermédiaire double-tranchante ( $t'$ ) se trouve alors connectée à l'électrode ( $r$ ) ou ( $s$ ) par une colonne de décharge s'établissant respectivement entre ( $r$ ) - ( $t'$ ) ou entre ( $s$ ) - ( $t'$ ). La résistance d'allumage ne détermine donc plus le potentiel de l'électrode ( $t'$ ) comme auparavant car la

conductivité de la colonne est beaucoup plus grande. Le potentiel de l'électrode ( $t'$ ) devient alors proche respectivement du potentiel R ou S (à quelques centaines de Volt près ce qui représente la chute de potentiels dans la colonne de décharge pilote). A ce moment là une autre décharge peut s'établir entre l'électrode ( $t'$ ) et respectivement l'électrode voisine ( $s$ ) ou ( $r$ ). Nous observons donc une propagation de décharges pilotes allumées grâce à ces résistances d'allumage:

- Puis la résistance d'allumage cesse pratiquement de conduire le courant car les résistances des décharges entre les électrodes ( $s$ ) et ( $t'$ ) et ( $r$ ) et ( $t'$ ) sont beaucoup plus faibles que la résistance d'allumage.
- La résistance d'allumage devient alors pratiquement hors du circuit et elle ne contrôle plus le courant des deux décharges ; c'est alors seulement la somme des résistances propres des deux décharges en série ( $r$ ) - ( $t'$ ) et ( $t'$ ) - ( $s$ ) qui détermine le courant de ces deux décharges. Sous une différence de potentiels R - S, ces deux décharges commencent alors à conduire un courant plus élevé.

Dans la structure hexagonale présentée sur la Figure 5a, nous aurons également quatre autres décharges entre les électrodes double-tranchantes ( $s$ ) - ( $r'$ ) - ( $t$ ) et ( $t$ ) - ( $s'$ ) - ( $r$ ). Le cycle de l'initiation et du développement de ces décharges suit des règles identiques à celles déjà décrites pour les décharges ( $r$ ) - ( $t'$ ) - ( $s$ ).

Pour l'instant nous négligeons l'existence d'autres électrodes double-tranchantes désignées par des traits pointillés et formant les 6 nids présentés sur la Figure 5a. Pour les activer afin qu'elles prennent part à la décharge multiple, il faut attribuer à ces électrodes un potentiel. La façon d'activer ces électrodes et l'attribution de leurs potentiels est présentée sur la Figure 5b. Nous partons de l'interdiction évidente de placer plus qu'une seule électrode du même nid alimentée directement à partir des pôles primaires R, S ou T, sous peine de voir passer un très fort courant de décharge non limité par une autre décharge en série. C'est pourquoi, pour attribuer un potentiel (phase) donné(e) à l'électrode du nid dont la phase n'a pas encore été définie nous choisissons la phase qui n'est pas encore présente dans ce nid. Ainsi un nid alimenté directement par le pôle R connecté à l'électrode ( $r$ ) aura deux autres électrodes ( $s'$ ) et ( $t'$ ) connectées respectivement aux pôles S et T de l'alimentation triphasée par l'intermédiaire de deux résistances d'allumage. De façon similaire nous aurons aussi les nids ( $s$ ) - ( $t'$ ) - ( $r$ ) et ( $t$ ) - ( $r'$ ) - ( $s'$ ) comme indiqué sur la Figure 5b (cependant nous n'y indiquons plus les résistances d'allumage et leurs connexions aux pôles R, S et T pourtant toujours présents).

La Figure 6a présente le principe d'attribution des phases (potentiels) directes et indirectes pour un multicluster. Les traits épais indiquent les électrodes double-tranchantes ( $r$ ), ( $s$ ) ou ( $t$ ) alimentées directement par les phases (pôles) R, S ou T tandis que les lignes pointillées indiquent les autres électrodes double-tranchantes ( $r'$ ), ( $s'$ ) ou ( $t'$ ) alimentées indirectement (donc à travers des résistances d'allumage) par les phases R, S ou T. Pour la clarté du dessin nous ne reportons plus de symboles indiquant l'appellation des phases ou des électrodes (ni les résistances d'allumage toujours présentes) sachant que le principe d'attribution des phases est toujours le même, tel que décrit auparavant et représenté sur les Figures 5a et 5b.

Sur la Figure 6a on voit une structure hexagonale centrale C composée de 6 nids, telle que présentée sur la Figure 5b. C'est à partir d'elle que nous développons, par un raisonnement inventif basé sur les règles d'attribution des pôles décrites auparavant, le reste de la structure. La symétrie de cette structure est facilement visible sur la Figure 6a. Cette structure est invariante par rotation ou par opération de réflexion. Une autre structure symétrique, présentée sur la Figure 6b, peut être obtenue par une bifurcation initiale appliquée à l'hexagone central C. Cette structure est-elle aussi invariante par rotation ou par opération de réflexion. Nous n'avons pas trouvé d'autres structures de multicluster parfaitement symétriques.

Les décharges glissantes évoluent en fonction de la poussée hydraulique du flux injecté par les buses, de l'évolution des tensions alternatives entre les phases R, S et T et de tout autre phénomène, par exemple une turbulence locale, agissant sur le comportement individuel de chaque décharge. Cependant les décharges ne sont plus indépendantes et chacune d'elles influence les autres par l'intermédiaire de leurs connexions en série, par voisinage (par exemple en rayonnant l'une sur l'autre), etc. Finalement, nous observons un ensemble de décharges très instables, très fluctuantes ... mais qui s'entretiennent mutuellement. Dès qu'une paire d'électrodes n'est plus interconnectée par une décharge, par exemple suite à la fin du parcours "naturel" de la décharge entre les deux bords voisins des électrodes (s) et (t'), une nouvelle décharge est initiée à l'endroit où ces électrodes sont les plus rapprochées. Ceci est dû au mécanisme déjà décrit d'allumage impliquant la (les) résistance(s) d'allumage. La loi de continuité du courant électrique appliquée au système triphasé pleinement développé et présenté sur la Figure 5b exige que la somme des courants I entrant dans une quelconque électrode intermédiaire soit égale à la somme des courants sortants de cette électrode. Par exemple pour l'électrode (t') :

$$I_{tr} + I_{sr} = I_{rs} + I_{rr}$$

où les indices sont auto explicatifs. C'est ainsi que malgré l'absence momentanée de décharge entre une paire d'électrodes, par exemple entre (t') et (s) pour poursuivre notre exemple, le passage du courant par l'électrode (t') ne sera pas interrompu car le courant  $I_{tr} + I_{sr}$  continuera à y circuler comme le courant  $I_{rr}$  vers l'électrode (r'). Ceci est explicité encore sur la Figure 7 qui reprend la situation présentée partiellement sur la Figure 5a et 5b en tenant compte de la configuration symétrique du multicluster de la Figure 6a. Sur cette Figure 7 nous marquons seulement quelques électrodes et leur attribution de phases, celles qui sont nécessaires pour expliquer les phénomènes de mise en série-parallèle des décharges (r) – (t') – (s) que nous avons déjà présentées à titre d'exemple.

Les résistances d'allumage ne consomment pas d'énergie car elles ne conduisent qu'un faible courant lors de rares moments d'allumage. A titre d'exemple nous utilisons des résistances allant de 0,1 MΩ à 2 MΩ (typiquement 0,5 MΩ) et de puissance de dissipation entre 0,5 W et 5 W (typiquement 2 W). Elles restent notamment tièdes même après de longues heures de fonctionnement d'un dispositif dans lequel ces résistances sont exposées à une atmosphère ambiante.

En mettant une décharge GlidArc comme résistance de limitation de courant pour une autre décharge glissante, nous dissipons toute énergie électrique fournie au sein même du dispositif. De plus, cette énergie est très active car dissipée dans une décharge électrique

glissante (avec toutes ses propriétés décrites précédemment) dans le flux de matière diluée à traiter. Ces décharges extrêmement instables mises en série et en parallèle s'entretiennent de façon autorégulatrice. De façon étonnante ces décharges peuvent fonctionner pendant un temps déterminé par la seule présence des tensions entre les pôles R, S et T d'une source HT rigide triphasée.

Le rendement énergétique d'une telle source d'alimentation devient ainsi amélioré par rapport à une source limitée en courant par des selfs en série avec chaque décharge. Mais la tension "à vide" de la source rigide doit être suffisante pour allumer une seule décharge du système de décharges en série pour des distances ( $d$ ) données entre les bords des électrodes.

Ensuite, le courant délivré par la source doit être suffisant pour entretenir les décharges en série. Ce courant est déjà bien auto-limité par les résistances de ces décharges, sinon il suffit d'insérer une autre résistance en série dans chacun des circuits impliquant le pôle R, S et T pour régler le courant moyen de toutes les décharges à un niveau compatible avec l'application souhaitée du GlidArc.

La partie inventive de cette solution consiste, si cela est encore nécessaire, à utiliser un connecteur (2) ayant une conductibilité électrique réduite, ceci seulement pour les électrodes (r) (s) et (t) liées respectivement aux pôles R, S et T de la source triphasée. Le choix du matériau dépend de la température locale à laquelle le connecteur est soumis, de l'environnement oxydant, réducteur ou corrosif dans l'intérieur du réacteur, de la rigidité mécanique désirée, etc. La résistance ohmique du connecteur peut se situer dans une gamme comprise entre 0,1 M $\Omega$  et 5 M $\Omega$  (typiquement 0,5 M $\Omega$ ) entre le point de connexion du câble R, S ou T et l'autre extrémité du connecteur attaché à l'électrode double ou mono-tranchante.

Dans certains cas nous utilisons encore une autre solution inventive pour limiter, si cela est encore nécessaire, les intensités des courants électriques parcourant les décharges, déjà en série et en parallèle avec elles-mêmes. Nous utilisons des électrodes qui présentent toutes (ou seulement une partie d'entre elles) une résistance propre. En effet, au lieu d'utiliser des électrodes métalliques conductrices, nous les préparons d'une façon particulière.

Une des solutions est présentée sur la Figure 8. Nous insérons un système (5) de résistances de distribution (par exemple ayant une forme arborescente) entre deux plaques (1a) solides (une seule est présentée). Ces deux plaques ont une conductivité électrique très réduite, par exemple celle d'une céramique ordinaire. Elles sont collées l'une sur l'autre et cachent alors leur structure fine interne. Ainsi on obtient une électrode résistive à résistance variable entre l'endroit (0) où le connecteur (2) est attaché à la double-plaque et un autre endroit (i), (ii) ou (iii).

Vu la structure filamenteuse des résistances ayant des sections et longueurs de branches variables, la résistance entre les endroits (0) et (i) est plus grande que celle entre les endroits (0) et (ii) qui, à son tour, est plus grande que la résistance entre les endroits (0) et (iii).

Une électrode résistive mono- ou double-tranchante peut être également préparée à partir d'un matériel de conductivité réduite dans toute sa masse, par exemple un semi-conducteur

ou un composite cérame-métallique, une telle électrode présentant un profil de résistance similaire à celui de la structure arborescente (5).

Une décharge s'amorce entre deux de telles électrodes voisines à l'endroit (i) où la distance (d) entre les électrodes est la plus petite. La colonne de plasma à cet endroit est la plus courte et alors sa résistance peut y être insuffisante pour limiter le courant électrique passant par la colonne sous tension rigide de la source d'alimentation. Bien sûr, la limitation du courant provient aussi de la présence de l'autre colonne de décharge en série avec la première. La présence de la résistance en série entre les endroits (0) et (i) fait augmenter la résistance totale en série ce qui, pour certains cas, peut être favorable au traitement plasma "froid" de la matière injectée dans le réacteur muni de notre dispositif multicluster. Une telle limitation du courant est également propice à la tenue des électrodes à cet endroit crucial de l'amorçage. Lors de l'évolution de la décharge sous l'effet de la poussée de la colonne par le flux de la matière en mouvement, la colonne s'allonge, sa résistance augmente et le courant électrique la traversant aurait tendance à diminuer sous la tension constante de la source. Mais les pieds de la colonne glissent sur les bords des deux électrodes dans le sens de (0) vers (i), puis vers (ii) et ensuite vers (iii). C'est dans cette direction que la résistance entre le point (0) et (i), puis (ii) et ensuite (iii) diminue. On observe alors une certaine compensation de l'augmentation de la résistance de la colonne par la diminution de la résistance du parcours du courant dans les deux électrodes sur lesquelles glisse la colonne. Cette résistance de parcours, somme des résistances du connecteur (2) et de l'électrode résistive, est préférentiellement située dans une gamme comprise entre 0,1 M $\Omega$  et 5 M $\Omega$  (typiquement 0,5 M $\Omega$ ).

En résumé : Le dispositif modulaire à décharges glissantes GlidArc sur une multitude d'électrodes est caractérisé de la façon suivante :

- 25 - Toutes les électrodes (1) du dispositif sont identiques et elles ressemblent à un poignard à double-tranchant (sauf quelques électrodes frontalières pouvant être mono-tranchantes). Ces électrodes double- ou mono-tranchantes sont constituées d'un solide de très bonne conductivité électrique (tel qu'un métal), d'un solide de conductivité réduite (tel qu'un composé métallo-céramique ou une céramique partiellement conductrice) ou bien d'un solide
- 30 quasi-diélectrique taillé en forme (1a) sur lequel (ou à l'intérieur duquel) on implante des chemins (5) partiellement conducteurs de distribution de courant électrique, tels que présentés à titre d'exemple sur la Figure 8. Chaque électrode est munie d'un connecteur (2) à la fois mécanique et électrique. Ce connecteur maintient chaque électrode dans un support (une plaque) placé à l'intérieur d'un réacteur muni du dispositif à décharges électriques
- 35 glissantes. Ce connecteur amène également le courant électrique d'une source triphasée de haute tension vers la décharge électrique entre les bords des électrodes voisines. A ce titre le connecteur (2) peut présenter une bonne conductibilité électrique ou, si nécessaire, jouer le rôle d'une résistance électrique mise en série avec les décharges.
- 40 - Trois électrodes double-tranchantes mises en étoile symétrique trigonale autour d'une buse (3) d'injection forment un nid élémentaire présenté sur la Figure 1. Tous les nids sont identiques sauf les nids périphériques appartenant à une structure à nids multiples ; ces nids

là peuvent contenir une ou deux électrodes mono-tranchantes. Un seul nid composé de trois électrodes mono-tranchantes peut être considéré comme le plus petit dispositif à décharges glissantes pour traiter le flux d'une matière diluée injecté par la buse (3).

- 5       - En entourant symétriquement un nid par trois autres nids on obtient un cluster élémentaire tel que présenté sur la Figure 2a. Une multitude de clusters assemblés de façon symétrique telle que présentée sur la Figure 4 ou d'une autre façon (par exemple côte à côte et/ou l'un au milieu des autres) peut former ainsi un dispositif pour générer des décharges électriques glissantes entre des multitudes d'électrodes. Le cluster monté sur une plaque et muni de buses forme un ensemble (une entité) rigide et, si nécessaire, amovible. Une plaque portant  
10       un seul cluster composé de quatre nids (ces nids étant composés de 4 électrodes double-tranchantes et de 6 électrodes mono-tranchantes, tel que présenté sur la Figure 2b) peut être considéré comme un petit dispositif à décharges glissantes multiples pour traiter le flux d'une matière diluée injecté par 4 buses.
- 15       - Trois nids identiques mis en hexagone symétrique, tel que présenté sur la Figure 5a, peuvent être considérés comme un groupe élémentaire du dispositif à décharges glissantes multiples. Dans ce groupe les décharges électriques se produisent en série, l'une à la suite de l'autre en passant par des électrodes intermédiaires, pour fermer un circuit électrique entre trois pôles R, S et T d'une alimentation triphasée connectée aux trois électrodes principales. Certaines électrodes double-tranchantes appartiennent (sauf pour les  
20       périphéries) aux autres nids voisins de la structure à multiples décharges électriques comme ceci est présenté sur la Figure 5b. Un groupe solitaire composé de trois nids et complété par trois autres électrodes, tel que présenté sur la Figure 9, peut être considéré comme un dispositif autonome, rigide et amovible à décharges glissantes. Dans ce cas on a 6 électrodes double-tranchantes (dont 3 sont les électrodes principales) et 6 électrodes mono-tranchantes périphériques. Ce dispositif peut être placé à l'intérieur d'un réacteur cylindrique de taille moyenne pour traiter le flux d'une matière diluée injecté par 6 buses.
- 25       - Avec 7 nids on peut construire une cellule montrée sur la Figure 3a. La cellule (4) est une entité rigide et amovible. Cet ensemble est fixé à une paroi interne d'un réacteur à multiples décharges glissantes. En rapprochant les sept nids pour former la cellule nous obtenons, grâce à la forme double-tranchante des électrodes et grâce à la symétrie triangulaire d'un tel montage, encore six endroits supplémentaires pour placer six buses. La cellule contient donc  
30       7 nids primaires, 21 électrodes double-tranchantes et 13 buses. Chaque buse sera entourée, après avoir enclenché la Haute Tension, par une triple-décharge glissante se développant entre les trois électrodes placées autour d'elle. Une cellule solitaire fixée sur une plaque  
35       porteuse et composée de 7 nids, 15 électrodes double-tranchantes et 9 électrodes mono-tranchantes, comme cela est présenté sur la Figure 3b, peut être considérée comme un dispositif autonome à décharges glissantes placées à l'intérieur d'un réacteur de taille moyenne pour traiter le flux d'une matière diluée injecté par 13 buses.
- 40       - Avec des éléments du puzzle tels qu'électrodes mono- et/ou double-tranchantes, nids, groupes, clusters et cellules, on peut remplir presque toute forme plane ou courbe désirée pour organiser efficacement un ensemble de décharges multiples le mieux adapté pour une



- application spécifique de traitement plasma d'une matière diluée injectée par de multiples buses, toutes mises en parallèle et entourées chacune par un nid logeant une triple décharge électrique. Soulignons que ces éléments sont identiques, chacun dans sa catégorie. Ainsi il est facile de fabriquer et d'assembler un dispositif multicluster adapté au flux d'une matière à traiter. Les éléments (tels que cluster ou cellule) d'un grand ensemble, comme celui présenté sur la Figure 4, peuvent être testés au préalable, mécaniquement et/ou électriquement, hors du réacteur; puis ils peuvent être placés côte à côte dans un grand réacteur.
- 5
- 10
- Seulement trois passages de HT triphasée par la paroi d'un réacteur fournissant toute la puissance électrique au système à décharges multiples sont nécessaires. C'est alors seulement à l'intérieur du réacteur que cette puissance est distribuée par un circuit utilisant des fils et des résistances d'allumage. Ces 3 passages HT ne sont pas soumis à une contrainte mécanique (due par exemple à l'attachement des électrodes) car ils transportent uniquement le courant électrique. Par exemple, pour une puissance d'environ 200 kW.
- 15
- prévue pour assister la conversion oxydante d'un flux de  $1000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$  de gaz naturel dans un réacteur SynGen basé sur des décharges glissantes multiples, on aura trois passages de 12 Ampères (sous 10 kV efficaces par rapport à la terre ou au corps du réacteur) et alors un bâton métallique d'un diamètre de 3 mm sera suffisant.

## REVENDECATIONS

1) Dispositif modulaire de génération de multiples décharges glissantes de haute tension entre de multiples électrodes (1) ayant la forme de poignards double- ou mono-tranchants, caractérisé en ce que :

- toutes ces électrodes sont :
  - agencées selon des structures de symétrie trigonale appelées "triades" et ressemblant à des étoiles à 3 branches séparées par un angle de  $120^\circ$ ,
  - placées, par triades, autour de multiples jets de matière diluée générés par de multiples buses (3) d'injection, une buse étant située au milieu de chaque triade d'électrodes, l'assemblage triade + buse formant ainsi un "nid" élémentaire,
  - alimentées par un générateur unique triphasé de haute tension,
- plusieurs nids côte à côte forment un ensemble amovible qui peut être placé dans un même réacteur à traiter la matière diluée,
- plusieurs ensembles amovibles peuvent être associés sous forme de structures complexes appelées clusters, groupes et/ou cellules remplissant un espace quelconque à l'intérieur d'un tel réacteur plasma,
- les trois pôles (phases) R, S et T dudit générateur unique sont connectées :
  - soit directement à certaines électrodes (*r*) (*s*) et (*t*) dites principales,
  - soit à travers des résistances d'allumage à des électrodes intermédiaires (*r'*) (*s'*) et (*t'*),
 ceci pour engendrer, entretenir et rallumer trois décharges glissantes le long des trois bords d'électrodes de chaque nid, sachant que :
  - deux décharges glissent entre un bord de l'électrode principale et deux bords des deux électrodes intermédiaires formant le nid,
  - la troisième décharge glisse entre ces mêmes bords des deux électrodes intermédiaires du nid.

2) Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que son unique alimentation électrique délivrée par un seul générateur triphasé R-S-T de haute tension :

- a une caractéristique rigide courant-tension de tension efficace entre les phases de 5 kV à 21 kV, cette tension étant éventuellement obtenue en utilisant un transformateur rigide à partir d'un secteur ou un groupe électrogène triphasé,
  - alimente simultanément toutes les électrodes du dispositif,
- et caractérisé en ce que ce générateur tout d'abord engendre des décharges pilotes grâce à des résistances d'allumage :
- ayant chacune une valeur ohmique comprise entre  $0,2 \text{ M}\Omega$  et  $2 \text{ M}\Omega$  (typiquement  $0,5 \text{ M}\Omega$ ) et une puissance de dissipation comprise entre 0,5 W et 5 W (typiquement 2 W), ces valeurs ohmiques et puissances étant sensiblement les mêmes pour toutes les résistances d'allumage du dispositif,
  - placées à l'intérieur du réacteur abritant le dispositif à multiples décharges glissantes,

puis entretient la décharge principale de puissance et finalement rallume la décharge pilote après l'extinction de la décharge principale, sachant que :

- le courant de chaque décharge ne dépasse pas 5 Ampères,
  - ces décharges sont engendrées, entretenues et rallumées entre les électrodes connectées par des câbles (conducteurs) se trouvant à l'intérieur du réacteur, cette connexion en circuit en série-parallèle étant caractérisé en ce que :
    - toutes les électrodes principales sont reliées directement aux trois pôles R, S ou T de façon à ce que l'électrode (*r*) soit reliée à R, l'électrode (*s*) soit reliée à S et l'électrode (*t*) soit reliée à T,
    - toutes les électrodes intermédiaires (*r'*), (*s'*) et (*t'*) sont reliées respectivement aux trois pôles R, S et T de l'alimentation à travers lesdites résistances d'allumage, à savoir (*r'*) à R, (*s'*) à S et (*t'*) à T, ceci à un endroit quelconque d'habitude le plus proche possible d'un passage des câbles (conducteurs) de distribution de ces trois pôles d'alimentation.
- 3) Dispositif selon la revendication 1 et 2 caractérisé en ce qu'un nid entouré par trois autres nids présente les caractéristiques suivantes :
- chacune de ses trois électrodes a la forme d'un poignard double-tranchant,
  - les écartements (*d*) entre les bords les plus proches de ses électrodes divergentes (suivant la direction du jet de fluide traité) sont sensiblement les mêmes,
  - seulement une de ses trois électrodes est une électrode principale (*r*) ou (*s*) ou (*t*) directement connectée respectivement à un pôle R ou S ou T de la source triphasée de haute tension, sachant qu'une telle électrode principale appartient à la fois à deux nids voisins,
  - les deux autres électrodes du nid sont connectées par l'intermédiaire des résistances d'allumage aux deux autres pôles de la source formant ainsi un nid (*r*)-(s')-(*t'*) ou (*r'*)-(s)-(*t*) ou encore (*r'*)-(s')-(*t*), sachant que chacune des électrodes intermédiaires du nid appartient à la fois à deux nids voisins,
  - chaque électrode du nid est sous un potentiel alternatif différent provenant d'une même alimentation triphasée, la différence de ces potentiels atteignant de 7 kV à 30 kV comme amplitudes maximales réelles à vide avant que les trois décharges n'éclatent entre les électrodes du nid.
- 4) Dispositif selon la revendication 1 et 2 caractérisé en ce qu'un nid qui ne se trouve pas entouré entièrement par les autres nids d'une structure à nids multiples, un tel nid se trouvant alors en périphérie, présente les caractéristiques suivantes :
- une (ou deux) de ses trois électrodes a (ont) la forme d'un poignard mono-tranchant tandis que les deux électrodes restantes (ou l'électrode restante) ont (a) la forme d'un poignard double-tranchant,
  - les électrodes mono-tranchantes sont placées à l'extrémité géométrique (périphérie) des structures à électrodes multiples,

- les écartements ( $d$ ) entre les bords les plus proches de ses électrodes divergentes (suivant la direction du jet de fluide traité) sont sensiblement les mêmes,
- seulement une de ses trois électrodes est une électrode principale ( $r$ ) ou ( $s$ ) ou ( $t$ ) directement connectée respectivement à un pôle R ou S ou T de la source triphasée de haute tension, sachant qu'une telle électrode principale appartient à la fois à deux nids voisins,
- les deux autres électrodes du nid sont connectées par l'intermédiaire des résistances d'allumage aux deux autres pôles de la source formant ainsi un nid ( $r$ )-(s')-(t') ou ( $r'$ )-(s)-(t) ou encore ( $r'$ )-(s')-(t), sachant que chacune des électrodes intermédiaires du nid appartient à la fois à deux nids voisins,
- chaque électrode du nid est sous un potentiel alternatif différent provenant d'une même alimentation triphasée, la différence de ces potentiels atteignant de 7 kV à 30 kV comme amplitudes maximales réelles à vide avant que les trois décharges n'éclatent entre les électrodes du nid.

15

5) Dispositif selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que les trois pôles d'alimentation unique R-S-T de haute tension triphasée sont connectés, par seulement trois passages diélectriques et étanches à travers les parois du réacteur abritant le dispositif, à un système de câbles (conducteurs) se trouvant à l'intérieur dudit réacteur, ces câbles (conducteurs) connectant les bornes (2) des électrodes à ces trois phases R, S et T soit directement (pour les électrodes principales) soit à travers des résistances d'allumages (pour les électrodes intermédiaires), redistribuant ainsi ces phases à toutes les électrodes du dispositif à l'intérieur du réacteur de façon à ce que, avant que les décharges n'éclatent entre les multiples électrodes du dispositif, les électrodes voisines soient sous les potentiels alternatifs des phases R, S ou T.

25

6) Dispositif selon les revendications 1 à 5 caractérisé en ce que les nids sont assemblés en entités contenant les électrodes de plus en plus structurées en cluster, groupe ou cellule, ces entités permettant, par leur association, de remplir un espace de forme quelconque, préférablement plat ou courbe, à l'intérieur d'un réacteur pour y organiser une multitude de décharges glissantes pour une application appropriée dudit réacteur, ces entités étant caractérisées à leur tour en ce que :

- un cluster
  - contient 9 électrodes dont 6 entourent symétriquement un nid central en formant ainsi 4 nids,
  - peut être également considéré comme un dispositif autonome, composé de 3 électrodes double-tranchantes entourées de 6 électrodes mono-tranchantes, muni de 4 buses (3) d'injection de la matière diluée à traiter dans 4 triple-décharges électriques, et prêt à être placé dans un réacteur,
- un groupe

35

- 5                   ○ contient 12 électrodes dont 6 sont disposées en hexagone de façon à ce que les électrodes intermédiaires double-tranchantes ( $r'$ ), ( $s'$ ) et ( $t'$ ) soient respectivement en face des électrodes principales double-tranchantes ( $r$ ), ( $s$ ) et ( $t$ ), constituant ainsi 6 nids,

                  ○ peut être également considéré comme un dispositif autonome, composé de 6 électrodes double-tranchantes (dont 3 sont les électrodes principales) entourées de 6 électrodes mono-tranchantes périphériques, muni de 6 buses (3) d'injection de la matière diluée à traiter dans 6 triple-décharges électriques, et prêt à être placé dans un réacteur,
- 10               • une cellule (4)

                  ○ contient 21 électrodes double-tranchantes dont 15 font partie de 3 hexagones conjoints abritant 13 buses, chacune des buses étant entourée par une triple-décharge glissante,

                  ○ peut être également considéré comme un dispositif autonome, composé de 15 électrodes double-tranchantes entourées de 9 électrodes mono-tranchantes périphériques, muni de 13 buses (3) d'injection de la matière diluée à traiter dans 13 triple-décharges électriques, et prêt à être placé dans un réacteur de taille moyenne,
- 15 sachant que ces clusters, groupes ou cellules sont montés sur un support portant les bornes que constituent les connecteurs (2) et les buses (3), ce support rigide et amovible pouvant être alors accroché individuellement à la paroi intérieure d'un réacteur pour former, par assemblage de plusieurs de ces entités, une structure encore plus complexe appelée multicluster capable d'épouser la forme du réacteur pour y organiser de multiples décharges glissantes de la manière

20 la mieux adaptée pour chaque application spécifique de traitement d'une matière diluée envisagée.

- 7) Dispositif selon la revendication 6 caractérisé en ce que la plaque destinée à porter un cluster, un groupe ou une cellule pour former une entité autonome à multiples électrodes et buses est munie de fixations permettant de :
- 25               • saisir les connecteurs mécaniques et électriques (2) de toutes les électrodes (1) du cluster, du groupe ou de la cellule en assurant leur isolation électrique de haute tension par rapport au corps du réacteur et par rapport à tous les autres connecteurs voisins,
  - 30               • régler précisément la position cartésienne et angulaire de chaque électrode attachée au connecteur par rapport aux positions des électrodes voisines attachées sur la même plaque, en respectant surtout les écartements minima ( $d$ ) entre les bords des électrodes voisines pour qu'ils soient sensiblement les mêmes pour toute la structure à électrodes multiples,
  - saisir chaque buse (3) d'injection et régler précisément sa position afin que l'axe de la buse soit confondu avec l'axe de symétrie du nid auquel appartient cette buse,
- 35 sachant que cette entité (plaque avec les fixations portant un cluster, un groupe ou une cellule) est préférentiellement assemblée et prérégulée hors du réacteur définitif et que le fonctionnement de l'entité est préalablement vérifié en utilisant un circuit de fluide et une alimentation électrique d'essai avant que l'entité ne soit mise dans le réacteur, toute seule ou assemblée côte à côte avec des entités similaires attachées séparément pour former un multicluster final mis dans un
- 40 grand réacteur.

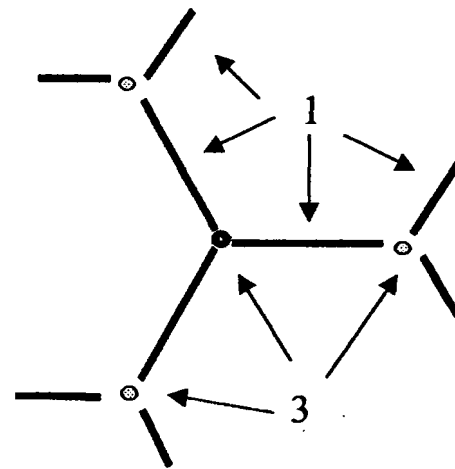
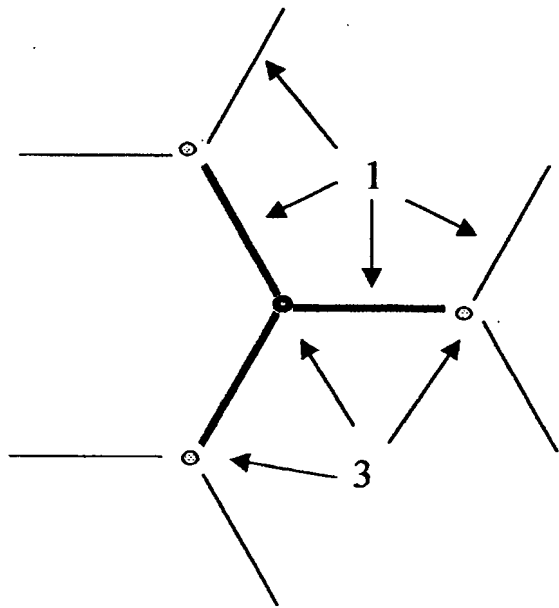
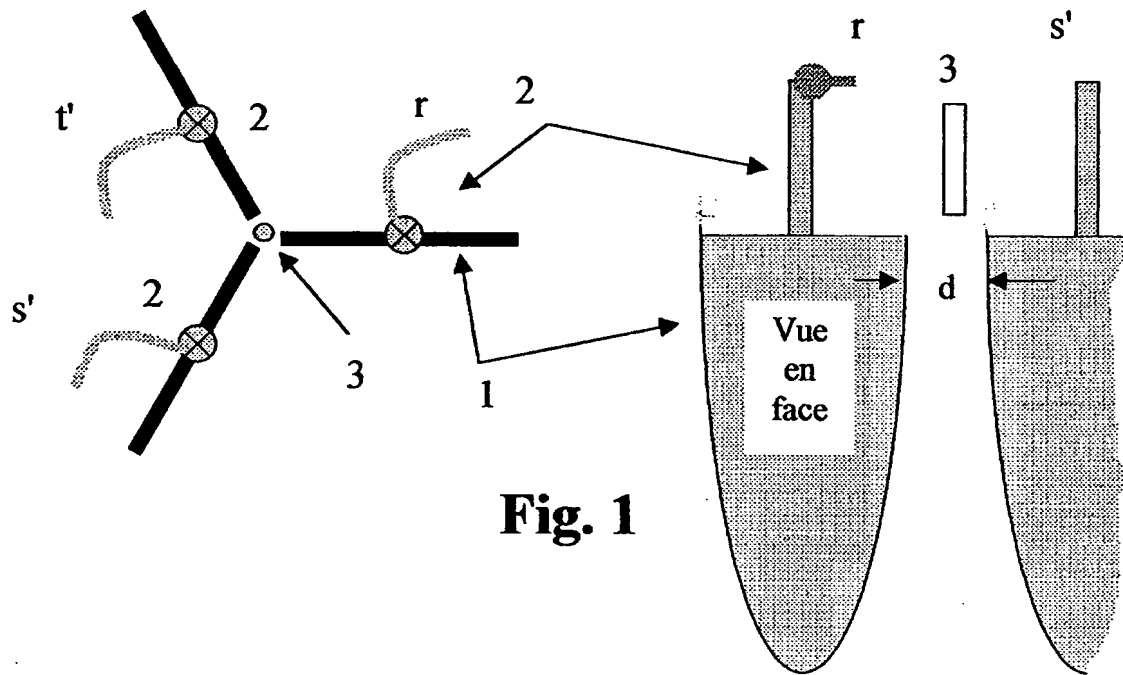
- 8) Dispositif selon les revendications 1 à 5 caractérisé en ce que l'intensité de courant passant par chaque décharge électrique déjà installée est limitée par la résistance ohmique propre à cette décharge ainsi que par les résistances d'une ou de deux autres décharges mises en série avec elle, ceci suite à l'agencement des électrodes se trouvant dans une même branche d'un cluster, d'un groupe ou d'une cellule et aux connexions électriques spécifiques entre ces électrodes, de telle sorte que le courant électrique ne peut s'écouler d'un pôle de l'alimentation à l'autre qu'en passant par ces décharges en série, sachant que lorsque ce courant dépasse 5 A ou quand une limitation encore plus forte de courant est demandée, une ou plusieurs résistances supplémentaires de valeur totale située dans la gamme entre 0,1 M $\Omega$  et 5 M $\Omega$  est (sont) mise(s) en série par rapport à ces deux ou trois décharges dans la branche, à savoir :
- une résistance ohmique intrinsèque du connecteur (2) se manifestant entre le point de connexion du câble R, S ou T et l'autre extrémité du connecteur attachée à l'électrode double ou mono-tranchante, celle-ci étant applicable seulement pour les électrodes principales (r), (s) et (t) liées respectivement aux pôles R, S et T de la source triphasée,
  - une électrode à caractère résistif obtenu :
    - soit grâce à un système (5) de résistances de distribution placées entre deux plaques (1a) ayant la même forme qu'une électrode (1), ces deux plaques ayant une conductivité électrique très réduite, étant collées l'une sur l'autre et abritant entre elles une structure arborescente de résistances filamenteuses à sections et longueurs de branches variables pour obtenir une électrode à résistance variable entre l'endroit (0) où le connecteur (2) est attaché à cette électrode et un autre endroit (i), (ii) ou (iii) sachant que, vu la structure fine de cette électrode résistive, la résistance entre l'endroit (0) et (i) est plus grande que celle entre l'endroit (0) et (ii) qui, à son tour, est plus grande que la résistance entre l'endroit (0) et (iii),
    - soit grâce à une électrode (1) préparée à partir d'un matériel de conductivité réduite dans toute sa masse, cette électrode présentant un profil de résistance similaire à celui de la structure arborescente (5a),
- sachant qu'on organise ainsi une certaine compensation de l'augmentation de la résistance de la colonne de décharge (qui s'allonge en glissant sur les électrodes divergentes) par la diminution de la résistance de parcours du courant dans de telles électrodes résistives sur lesquelles glisse la colonne,
- sachant encore qu'une telle limitation de courant des décharges sur les résistances massives mises en série provoque une dissipation de la chaleur de Joule à l'intérieur du réacteur, mais ceci apporte une partie de l'énergie nécessaire pour des processus endothermiques ou pour des processus ayant un effet exothermique insuffisant pour accélérer la cinétique des réactions.

- 9) Dispositif selon les revendications 1 à 6 et 8 caractérisé en ce que l'auto-allumage et le rallumage de décharges glissantes mises en série entre trois ou quatre électrodes appartenant à la même branche d'un cluster, d'un groupe ou d'une cellule ne se passe entre les bords de ces électrodes à l'endroit où elles sont le plus rapprochées, la plus courte distance (d) entre ces

électrodes étant sensiblement la même pour toutes les électrodes du cluster, groupe ou cellule qu'en présence d'une résistance d'allumage connectant une électrode intermédiaire de la branche à un pôle de la source d'alimentation alternative triphasée de tension maximale donnée.

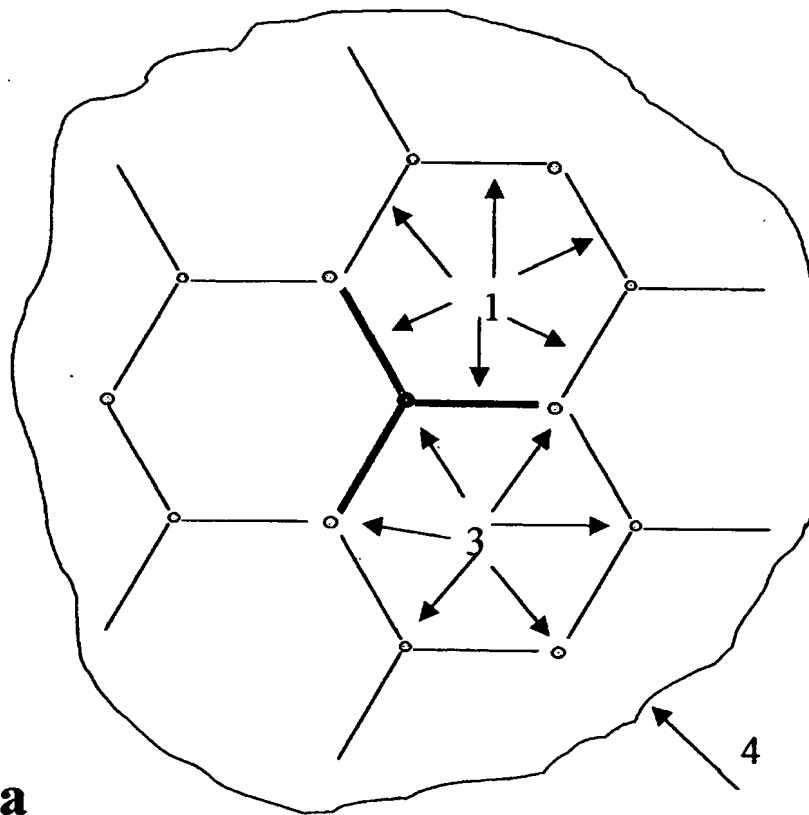
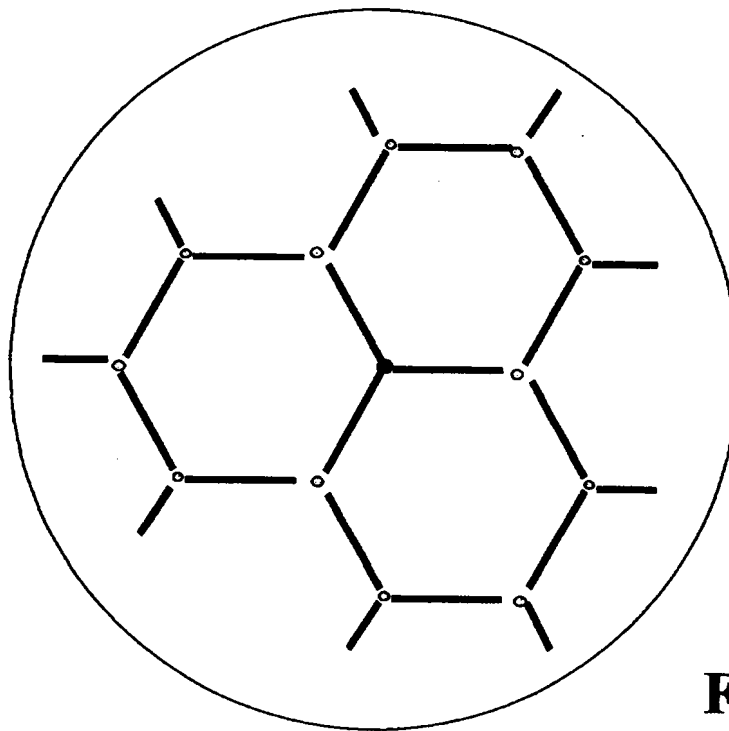
- 5            10) Réacteur muni du dispositif à décharges électriques glissantes selon les revendications 1 à 9 dont le nombre des buses, toutes mises en parallèle et chacune d'elles entourée par des électrodes mono- ou double-tranchantes identiques, chacune dans sa catégorie, est adapté au flux d'une matière diluée à traiter.

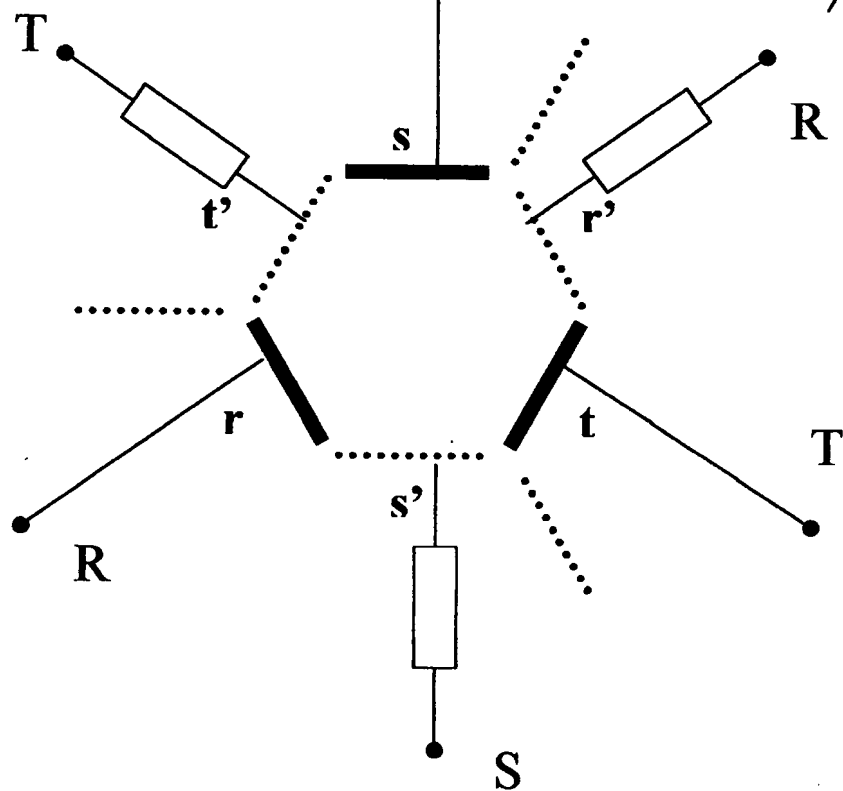
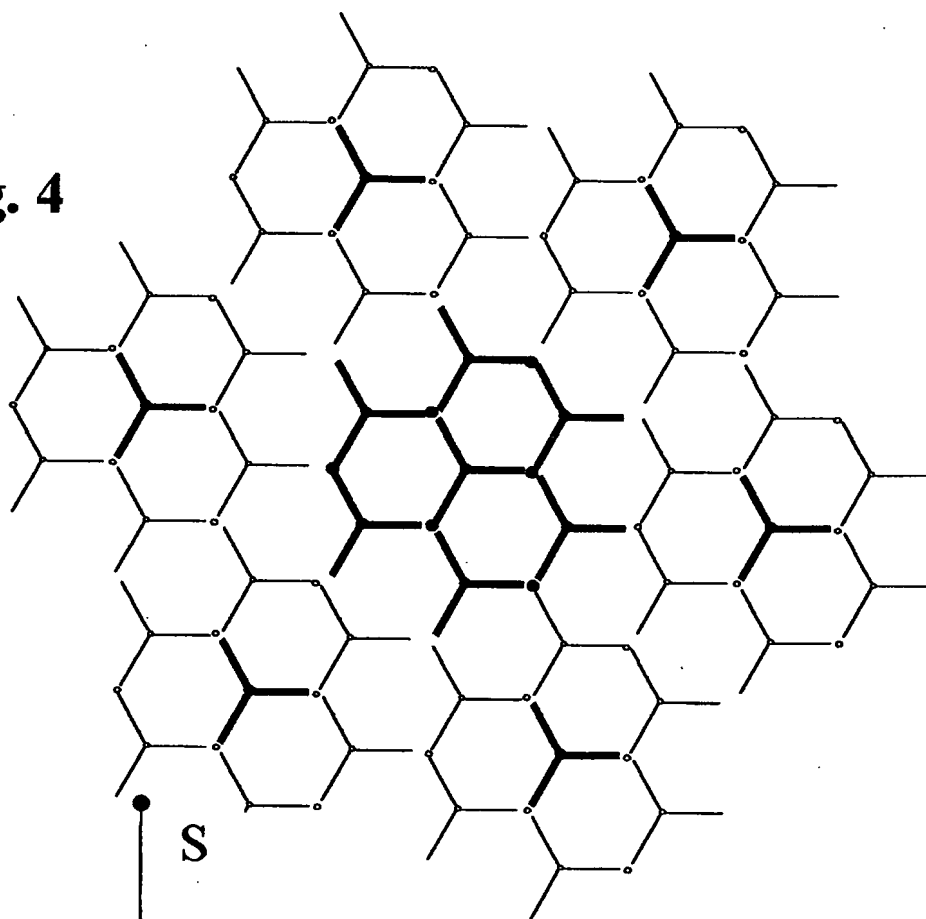
1/6

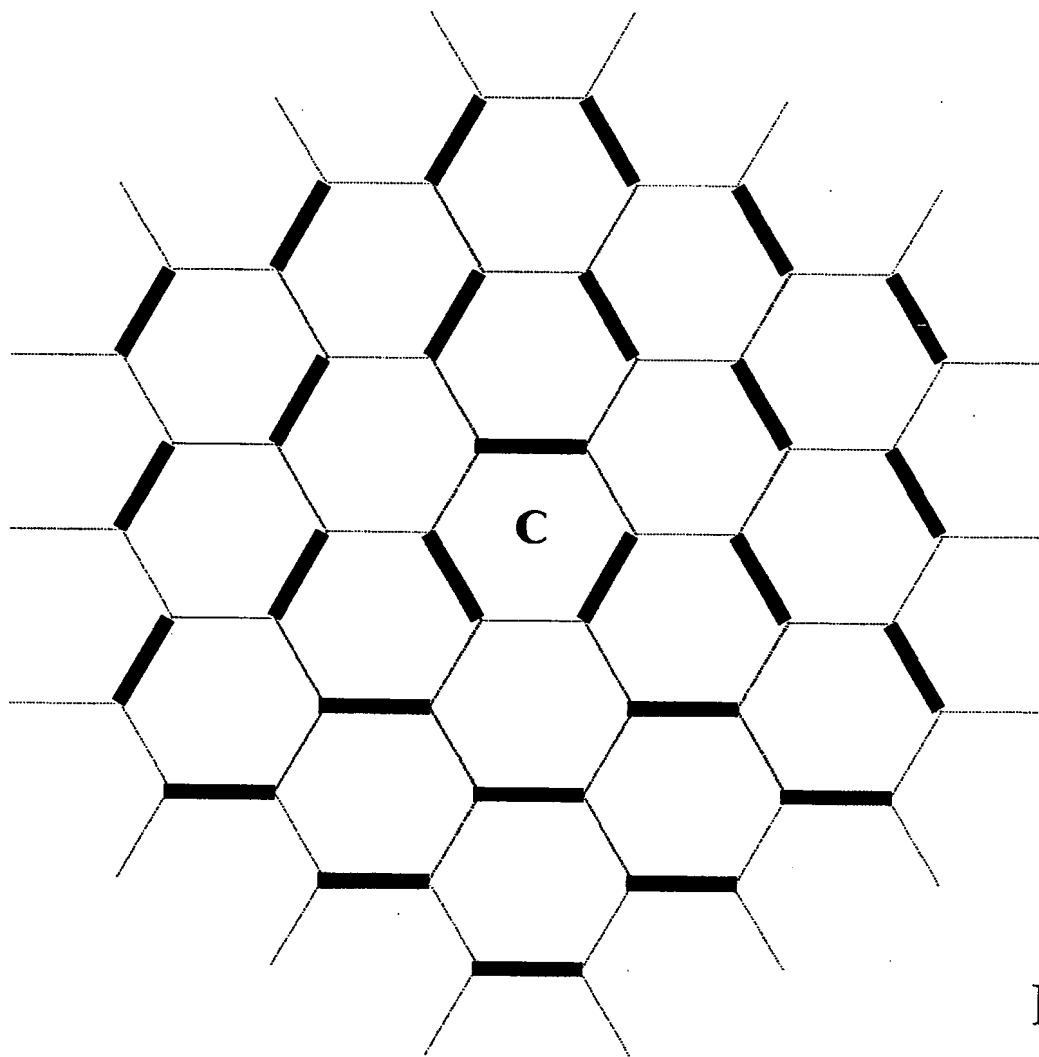
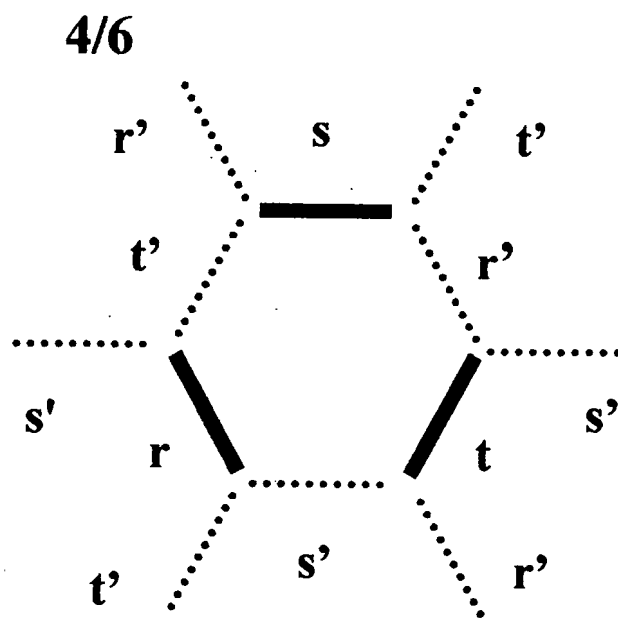


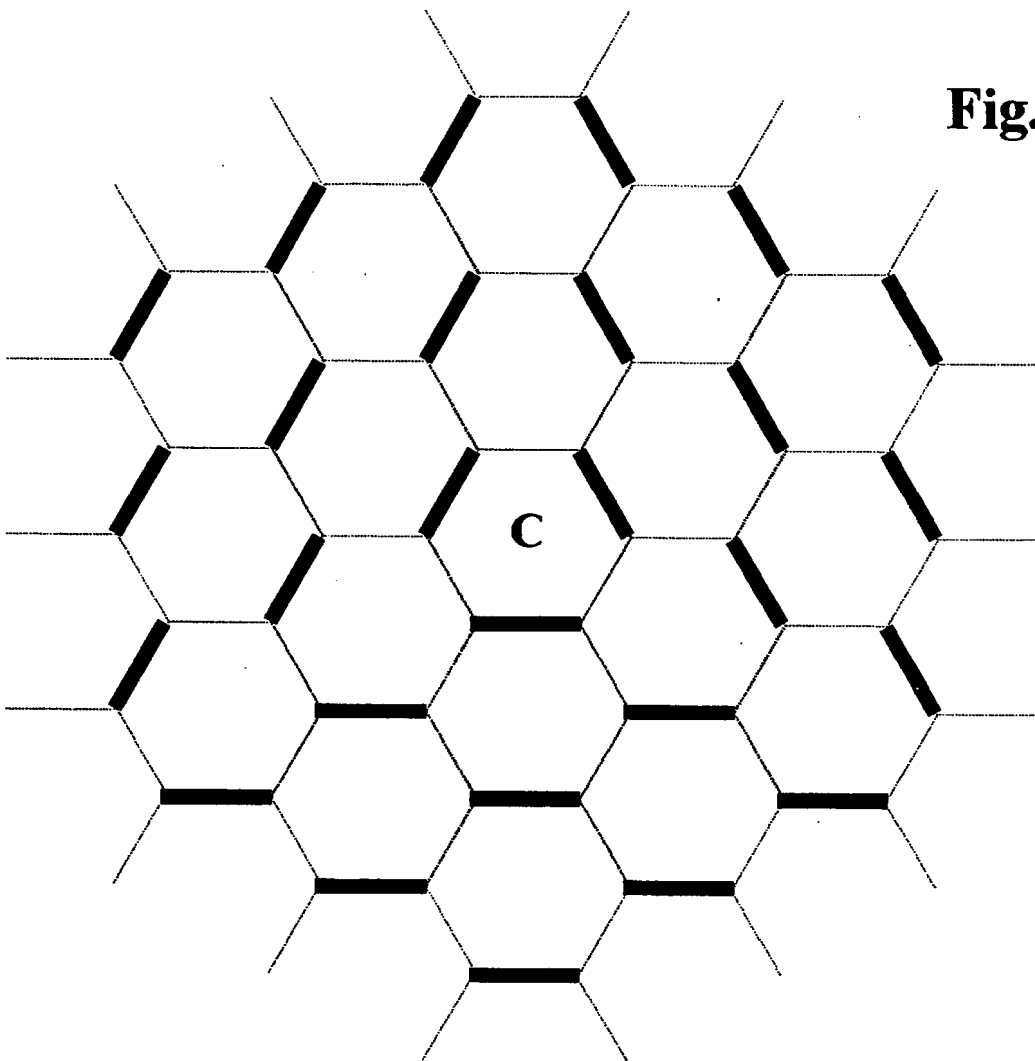
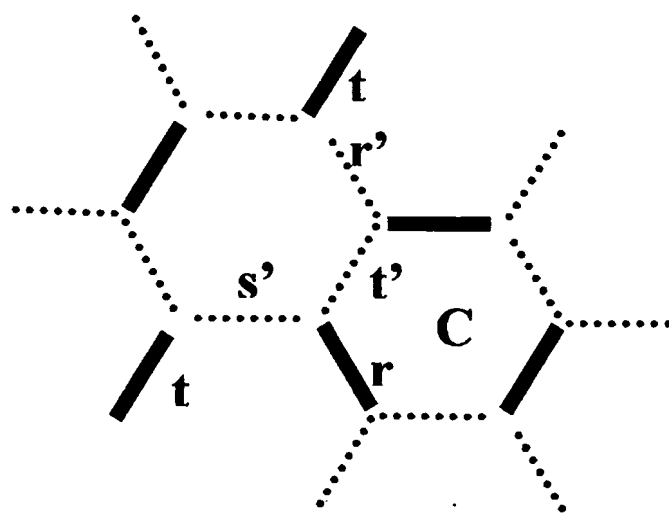


2/6

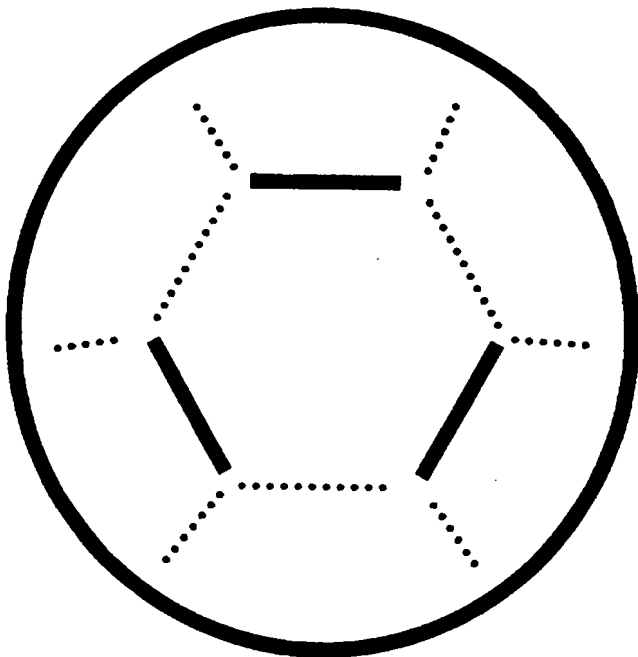
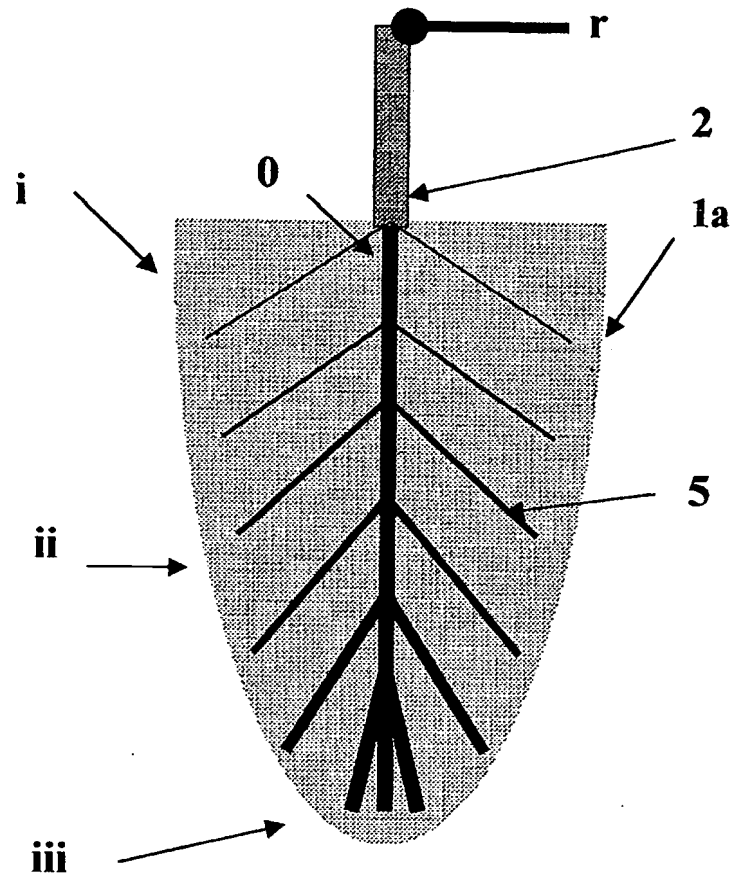
**Fig. 3a****Fig. 3b**

$3/6$ **Fig. 4****Fig. 5a**

**Fig. 5b****Fig. 6a**

$5/6$ **Fig. 6b****Fig. 7**

6/6

**Fig. 8****Fig. 9**



# **RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 624255  
FR 0208648

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	GB 2 145 591 A (LOUGHBOROUGH CONSULT LTD) 27 mars 1985 (1985-03-27) * le document en entier *	1,8	H05H1/48 B01D53/32
A	GB 832 946 A (SAINT GOBAIN) 21 avril 1960 (1960-04-21) * page 3, ligne 8 - ligne 22 * * figure 4 *	2	
A	WO 01 54464 A (SAFRONOV ALEXEI A ; SHIRIAEV VASILI N (RU); RUTBERG PHILIP G (RU);) 26 juillet 2001 (2001-07-26) * page 4, ligne 5 - page 9, ligne 23 * * page 12, ligne 14 - ligne 17 *	1,2,5,7	
D,A	EP 0 394 141 A (RECH GEOLOG MINIERE) 24 octobre 1990 (1990-10-24)		
D,A	FR 2 639 172 A (ELECTRICITE DE FRANCE) 18 mai 1990 (1990-05-18)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			H05H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 mars 2003		Capostagno, E	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un  autre document de la même catégorie  A : arrière-plan technologique  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure  à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date  de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			